



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Skråningsstabilitet

Sørensen, Carsten S.; Jensen, B. S.

Published in:
Proceedings fra NGM-2000 : XIII Nordiska Geoteknikermötet

Publication date:
2000

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Sørensen, C. S., & Jensen, B. S. (2000). Skråningsstabilitet. I Rathmayer, H. (Ed.) (red.), *Proceedings fra NGM-2000 : XIII Nordiska Geoteknikermötet: Helsinki, Finland, 5-7 June 2000* (s. 479-485). Building Information Ltd..

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Skråningsstabilitet

Carsten S. Sørensen

COWI, Rådgivende Ingeniører A/S, Aalborg

GEOTEKNIKGRUPPEN, Aalborg Universitet, Danmark

Betty Stenstrup Jensen

COWI, Rådgivende Ingeniører A/S, Århus

ABSTRACT: Skråninger bryder også i Danmark. Artiklen beskriver stabilitetsbrud dels i en naturlig skråning i tertiært ler og dels i en gravet skråning i glacialt/senglaciale ler. De efterfølgende geotekniske undersøgelser omfatter bestemmelse af det maksimale sandsynlige vandtryk i skråningen, bestemmelse af udrænedede og drænedede styrkeparametre og endelig beregning af en uarmeret og en armeret skrånings stabilitet.

1. INDLEDNING

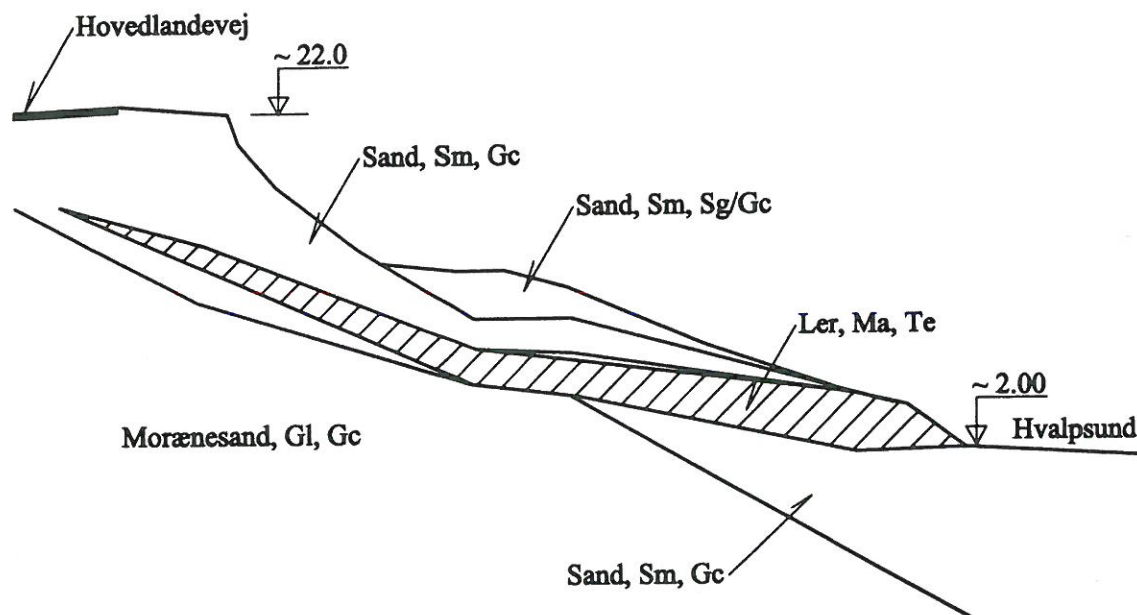
Selvom Danmark er et fladt land (det højeste punkt er 170 m over havoverfladen) sker der også i Danmark brud i såvel naturlige som i gravede skråninger. Disse brud optræder primært efter en periode med regn, hvor poretrykket forøges i skråningerne med deraf følgende mindre stabilitet. Artiklen beskriver brud i to skråninger hver med en højde på ca. 20 m. Det ene brud var varslet det andet ikke. Konsekvensen af begge brud var meget dramatisk. Ved det ene brud - i Sundsøre - forsvandt en vejbane på en 20 m lang strækning på en hovedlandevej, og ved det andet brud - i Vejle - blev et 2-familie hus delvist ødelagt. På grund af bruddenes alvorlige karakter blev begge brud undersøgt tilbundsgående.

2. AKTUELLE FORHOLD

2.1 Sundsøre

Skråningen i Sundsøre ligger ved Limfjorden i det nordøstlige Jylland ved vigen Hvalpsund, hvor hovedlandevejen på en strækning løber på toppen af en 21 m høj skråning. Gennem de seneste 8 år er der på denne strækning sket flere skred, hvilket har bevirket, at skråningstoppen på undersøgelsestidspunktet kun lå 6 m fra kanten af hovedlandevejen. Vejmyndigheden frygtede derfor for hovedlandevejens stabilitet og ønskede stabiliteten undersøgt nærmere.

Boringerne i skråningen viste, at bundforholdene var meget komplicerede med hensyn til stabiliteten af skråningen. En boring ved skråningstoppen viste øverst 1 m udvasket, glacialt, gletscheraflejret moræneler, underlejret af ca. 6,5 m glacialt, smeltevandsaflejret sand, med kornstørrelse og indhold af grus voksende med dybden. Herunder en ca. 2 m tyk flage af tertiært, marint, siltet, sprækket ler. Under den tertiære ler fandtes glacialt, fin-grovkornet smeltevandssand til 14,5 m under terræn. De øvrige boringer i skråningen bekræftede, at det var en løs flage af tertiært ler, som var indlejret skråt, både på langs og på tværs af skråningen. Et tværsnit med laggrænser fremgår af figur 1.



Figur 1. Tværsnit i skråning ved Sundsøre



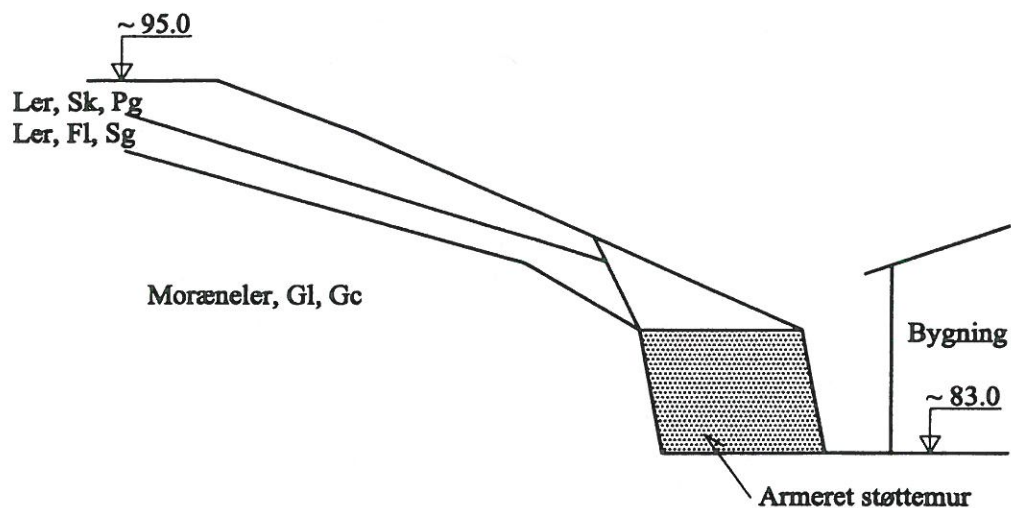
Figur 2. Brud i skråning ved Sundsøre

2.2 Høgsholtparken i Vejle

Skråningen i Vejle ligger i den nordlige del af byen i Østjylland og er 20 m høj. For at give plads til en række nye boliger var der blevet fjernet op til 16 m af skråningsfoden. Da skråningstoppen ikke kunne flyttes tilsvarende tilbage på grund af eksisterende bygninger, var der i stedet etableret en op til 5 m høj sandstøttemur ved skråningsfoden, blot 2 m bag andelsboligerne. Skråningen var dog

ikke stabil, idet der gennem en længere periode kunne registreres flere skred, det værste i oktober 1998, hvor gavlen på en af boligerne blev trykket ind på grund af et skred i skråningen, jfr. figur 4.

Boringer fordelt over skråningen viste recent sand- og lerfyldt til 1-3 m under terræn, herefter senglacialt flydejordsaflejret ler, hvorunder der fandtes glacialt, gletscheraflejret ret fedt moræneler til ca. 12 m under terræn. Herunder til boringernes bund 15 m under terræn fandtes glacialt, fin til mellemkornet smeltevandssand. I moræneleren fandtes flere striber af mellem til grovkornet morænesand. Det primære vandspejl blev fundet beliggende dybere end skråningsfoden. Et tværsnit med laggrænser fremgår af figur 3.



Figur 3. Tværsnit i skråning bag Høgsholtparken



Figur 4. Brud i skråning bag Høgsholtparken

BESTEMMELSE AF VANDTRYK OG STYRKEPARAMETRE

For at kunne beregne skråningernes stabilitetsforhold er det meget væsentligt at få fastlagt vandtrykkene og jordens styrkeparametre med god nøjagtighed.

Normalt vil der efter et brud blive foretaget geotekniske undersøgelser bl.a. til bestemmelse af vandtryksforholdene. En nøjagtig fastlæggelse af vandtrykkene i en skråning i brudøjeblikket er praktisk talt umulig at foretage. Og da vandtrykkene normalt falder umiddelbart efter bruddet, er en efterfølgende måling heller ikke mulig. På baggrund af vandspejlsobservationer over en tid og sammenhørende registreringer af nedbørsmængder er det dog normalt muligt at beregne et sandsynligt maksimal vandtrykssituation i en skråning som kan antages virkende i brudøjeblikket.

Ligeledes er bestemmelse af styrkeparametre vanskelig. I de to sager blev styrkerne dels bestemt ved forsøg og dels ved efterberegning af tidligere skred.

I sådanne sager er det normalt ikke muligt ved simple rutineforsøg at fastlægge de betydende parametre, hvorfor mere avancerede forsøg er påkrævet. Selv dette er tit vanskeligt, især fordi visse sandede jordtyper mister "deres hukommelse" ved prøvetagningen. Dette medfører, at det er meget vanskeligt f. eks. at bestemme en jords forbelastningsspænding, hvilket er en forudsætning, når en jordprøves belastningshistorie skal rekonstrueres forud for et styrkeforsøg i f. eks. et triaxialapparat eller i en skærbox. Korrekte styrkeparametre måles kun hvis en jordprøves spændingshistorie rekonstrueres korrekt.

De ved forsøgene bestemte værdier blev i de aktuelle tilfælde kontrolleret ud fra beregnede styrkeparametre fra de tidligere skred. Skredområdet og den intakte skråning ved siden af skredområdet blev opmålt nøjagtigt. På grundlag af disse opmålinger, de geotekniske borer og skøn af styrkeparametre for de ikke skredfarlige jordarter, blev der foretaget en omvendt beregning af stabilitetsbruddene. Ved at antage at skråningen i skredområdet oprindeligt har haft samme hældning som registreret udenfor skredområdet, kunne styrkeparametrene for de skredfarlige jordlag fastlægges til de værdier, der i stabilitetsberegningerne gav den brudfigur, der kunne matche den, der var blevet målt i skredområdet.

De to metoder resulterede i følgende parametre:

Tabel 1. Sundsøre: Ler, Marint, Tertiært

		Forsøg	Beregning
w	%	19 - 32	
I _p	%	17 - 42	
c _{uk}	kPa	50	35
c'	kPa	0	0
φ	grader	21	19,2

Tabel 2. Høgsholtparken i Vejle: Ler, Skred, Senglacialt

		Forsøg	Beregning
w	%	17 - 36	
c _{uk}	kPa	50	35
c'	kPa	14	7
φ	grader	24	24

På grundlag af de målte og de beregnede styrkeparametre kunne det konstateres, at parametrene målt ved forsøg var noget højere end de beregnede, hvilket kan skyldes flere årsager. Et ikke uvæsentligt forhold er usikkerheden på bestemmelse af vandtrykket i brudøjeblikket.

På den sikre side blev styrkeparametrene, fastlagt på grundlag af beregningsmetoden tillagt størst værdi for begge skråninger, hvorfor disse værdier derfor blev anvendt i den efterfølgende projektering af afhjælpningsforslagene.

3. LØSNINGSFORSLAG

4.1 Sundsøre

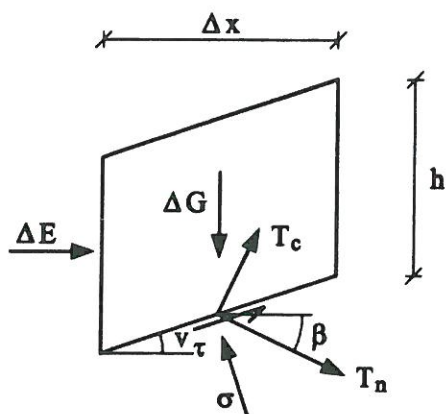
Efter fastlæggelsen af jordens styrkeparametre og det dimensionsgivende vandtryk kunne det eftervises ved stabilitetsberegninger, at skråningen ikke havde tilstrækkelig sikkerhed mod brud, jfr. den danske Norm for Fundering, DS 415. Derfor blev det besluttet at afspærre den halve vejbane, indtil der var sket en sikring af vejen. Derefter besluttede vejmyndigheden at forlægge vejen permanent væk fra skråningen, da en regulering af skråningshældningen ikke var hensigtsmæssig. Kort tid efter kom der et nyt skråningsbrud, hvor halvdelen af vejbanen forsvandt, jfr. figur 2. Det var derfor på høje tid at vejen blev forlagt. Mekanismen for dette brud svarede i øvrigt helt til det regningsmæssige brud.

4.2 Høgsholtparken i Vejle

Umiddelbart efter at bruddet i Vejle var sket, blev beboerne i den skadesramte bygning evakueret og der blev iværksat et overvågningsprogram (primært til måling af vandtryk i skråningen) med henblik på vurdering af sikkerheden for beboerne i de øvrige ejendomme.

Da en regulering af skråningshældningen ikke var mulig på grund af ejendommenes beliggenhed tæt ved henholdsvis skråningstoppen og skråningsfoden, blev der udbudt 2 forskellige sikringsløsninger. Den ene var en traditionel sikring med en topspuns og en reduktion af skråningshældningen. Den anden var en sikring med jordankre (soil nailing), en metode som endnu ikke er udbredt i Danmark. Ved soilnailing sikres skråningen ved at etablere et net af jordankre gennem de svage jordlag og ned i de mere stabile jordlag. En eventuel brudfigur tvinges derfor til at bryde disse jordspyd eller til at gå under disse og derved ned i mere stabile jordlag.

I forbindelse med udbudsprojektet viste det sig nødvendigt at vurdere sikkerheden ved soil nailing. Erfaringer har hidtil baseret sig på totalsikkerhedsprincippet, som ikke anvendes i Danmark. Derfor måtte en række eksempler gennemregnes for at kunne sammenligne løsninger, som er dimensioneret efter totalsikkerhedsprincippet med løsninger dimensioneret efter partialkoefficientsystemet. Konklusionen var, at partialkoefficientsystemet ofte resulterer i samme antal ankere og ankerlængder som totalsikkerhedssystemet.



Figur 5. Beregningsfigur

På baggrund af figur 5 kan sikkerhedsfaktoren for en skråning beregnes. Hvis partialkoefficientsystemet anvendes, skal sikkerhedsfaktoren, SF, blot være $> 1,0$, da sikkerheden er indført på jordens og ankrenes styrkeparametre. Hvis totalsikkerhedssystemet anvendes skal sikkerhedsfaktoren, $SF > 1,4$, da der her ingen sikkerhed er indført på materialeparametrene.

Den maksimale regningsmæssige forskydningsspænding τ i brudlinien kan beregnes på baggrund af figur 5, q er en evt. overfladelast, γ er jordens total rumvægt og u er vandtrykket i brudlinien; c og ϕ skal være regningsmæssige.

$$\tau = \frac{c + (q + \gamma \cdot h - u) \cdot \tan \phi}{1 + \tan \nu \cdot \tan \phi}$$

Sikkerhedsfaktoren, SF, mod glidning ved henholdsvis ankre og uden ankre kan ligeledes beregnes ud fra figur 5. Herved fremkommer nedenstående velkendte ligninger. Det anbefales ved dimensionering af jordankre at undersøge både sikkerhedsfaktoren med og uden ankre.

$$SF \text{ med ankre} = \frac{\sum [\tau \cdot \Delta x \cdot \sec^2 \nu + T_n \cdot \sec \nu \cdot \cos(\nu + \beta) + T_c \cdot \sec \nu \cdot \sin(\beta + \nu)]}{\sum [\Delta G \cdot \tan \nu]}$$

$$SF \text{ uden ankre} = \frac{\sum [\tau \cdot \Delta x \cdot \sec^2 \nu]}{\sum [\Delta G \cdot \tan \nu]}$$

T_n og T_c er de enkelte ankres træk- og forskydningsstyrke. Øvrige geometriske størrelser fremgår af figur 5.

4. AFSLUTNING

For Sundsøre projektet viste det sig ½ år efter undersøgelserne var afsluttet, at skråningen - som forudset - ikke var stabil. Der skete et skred, som involverede det halve af hovedlandevejen, jfr. figur 2. Der skete heldigvis ikke personskader, idet vejen forinden var afspærret. Siden er der foretaget en permanent forlægning af hovedlandevejen væk fra skråningen, således at eventuelle fremtidige skred ikke har nogen indflydelse på vejen.

Vejle sagen er endnu ikke afsluttet, men det der kan erfares i denne sag er, at det naturligvis er nødvendigt at udføre geotekniske undersøgelser for det aktuelle byggeri, men at det er mindst lige så vigtigt at undersøge de geotekniske forhold for de omkringliggende konstruktioner og anlæg.

5. TAK

Forfatterne vil benytte lejligheden til at takke Peter Borchardt fra Geoteknisk *Spets*-Teknik AB, Göteborg for stor hjælpsomhed i forbindelse med forsøg på at indføre soilnailing som en forstærkningsmetode af skråninger i Danmark. Desværre ser det på nuværende tidspunkt ikke ud til at metoden er økonomisk fordelagtig i Danmark, hvilket måske skyldes særlige danske konkurrenceforhold.

REFERENCER

Code of practice for Strengthened/reinforced soils and other fills, BS 8006 : 1995. ISBN 0-580-24216-1

Recommendations Clouterre 1991, Pour la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle dessoutènements réalisés par clouage des sols. ISBN 2-85978-170-6